

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



# 电路分析基础

杨鸿波 张芳 柴海莉 魏英 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



# 电路分析基础

杨鸿波 张芳 柴海莉 魏英 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是按照教育部 2004 年修订的“电子信息科学与电气信息类电路分析基础课程教学基本要求”,对北京信息科技大学电类专业的电路分析基础课程讲义进行修订和总结而编写的。

全书共 12 章,包括电路分析的基本定律和等效的概念、电路的一般分析方法、电路定理、一阶动态电路、二阶动态电路、正弦稳态分析、正弦稳态功率的计算、含有耦合电感的正弦稳态分析、三相电路、电路的频率响应、非正弦周期电流电路分析、线性动态电路的复频域分析。各章后还配有适量习题。

本书可作为高等学校自动化类、电气类、电子类等专业的的基础课教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/杨鸿波等编著. —北京:清华大学出版社,2011.9

(21 世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-25715-8

I. ①电… II. ①杨… III. ①电路分析 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 106843 号

责任编辑:魏江江 顾 冰

责任校对:时翠兰

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.75 字 数:332 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

产品编号:037795-01

# 编审委员会成员

---

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方勇	教授
上海交通大学	朱杰	教授
	何晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授

西南交通大学

重庆工学院

重庆通信学院

重庆大学

重庆邮电学院

西安电子科技大学

西北工业大学

集美大学

云南大学

东华大学

冯全源 教授

金炜东 教授

余成波 教授

曾凡鑫 教授

曾孝平 教授

谢显中 教授

张德民 教授

彭启琮 教授

樊昌信 教授

何明一 教授

迟岩 教授

刘惟一 教授

方建安 教授

# 出版说明

---

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

# 前言

本书是依据教育部 2004 年修订的“电子信息科学与电气信息类电路分析基础课程教学基本要求”而编写的,可作为高等学校自动化类、电气类、电子类等专业的基础课教材或参考书。

从 18 世纪 20 年代至今,电路分析的发展大体上经历了 3 个阶段,由最初的电磁学的一个分支,逐步成熟,形成一门独立的学科——经典电路理论,到目前发展成理论上完备、逻辑上严谨的近代电路理论。在电路分析发展的基础上又扩展出模拟电子技术、数字电子技术、高频电子技术和集成电子设计等相关的内容,成为现代信息社会的重要知识基础。从计算机到通信、广播、电视、医疗仪器和航空航天,几乎所有领域都在应用电路分析的知识。

随着电路技术的发展,电路功能日益复杂,新型器件的相继诞生,相应的电路分析的方法和手段也在不断地演变和发展。鉴于上述情况,本书着重致力于介绍电路的基本理论、基本分析方法,从而培养学生分析问题和解决问题的能力,为以后学习打下电路理论的基础;为读者清晰地介绍电路分析理论的基本规律以及各部分内容之间的紧密联系,方便自学。

本书编写的原则是:明确电路分析基础知识的地位;注重训练和培养科学的逻辑思维能力;加强工程背景,“学以致用”。强调知识结构,服务对象为普通院校的本科生,兼顾各专业要求。

在内容的安排上,注意贯彻从实际出发,由浅入深,由特殊到一般,从感性上升到理性等原则。文字叙述尽量做到通俗易懂,逻辑性强。同时在每章末都附有一定数量的习题,帮助学生加深对课程内容的理解。

本书第 1、6、7、10 章由杨鸿波编写,第 8、9、11、12 章由张芳编写,第 2、3 章由柴海莉编写,第 4、5 章由魏英编写。

北京信息科技大学高晶敏教授在百忙之中抽出宝贵的时间审阅了全书,并对本书的编写提出了建设性的意见。本书的编写工作得到了北京信息科技大学教学改革基金的支持,在全书的编写过程中,还得到北京信息科技大学电工电子实验教学中心全体教师的悉心指导和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2011 年 6 月



# 目 录

<b>第 1 章 电路分析的基本定律和等效的概念</b> .....	1
1.1 电路模型和电路图 .....	1
1.2 参考方向 .....	3
1.2.1 电流的参考方向.....	3
1.2.2 电压的参考方向.....	4
1.2.3 电功率及其参考方向.....	5
1.3 独立源 .....	6
1.3.1 理想电压源.....	6
1.3.2 理想电流源.....	6
1.4 电阻元件 .....	8
1.5 基尔霍夫定律 .....	9
1.5.1 基尔霍夫电流定律 .....	10
1.5.2 基尔霍夫电压定律 .....	11
1.6 受控源.....	13
1.7 一端口电路的等效变换.....	15
1.7.1 电阻的串并联及等效变换 .....	15
1.7.2 电压源、电流源的串联和并联.....	17
1.7.3 电源与支路的串联和并联 .....	18
1.7.4 实际电源的等效变换 .....	18
1.8 电阻的Y型连接和 $\Delta$ 型连接的等效变换 .....	21
习题 .....	23
<b>第 2 章 电路的一般分析方法</b> .....	29
2.1 两类约束：电路 KCL、KVL 的独立方程式 .....	29
2.2 支路电流法.....	30
2.3 网孔电流法.....	32
2.4 节点电压法.....	34
习题 .....	37
<b>第 3 章 电路定理</b> .....	39
3.1 线性电路和叠加定理.....	39
3.2 替代定理.....	42

3.3	戴维南和诺顿定理	44
3.4	最大功率传输定理	48
	习题	49
<b>第4章</b>	<b>一阶动态电路</b>	<b>52</b>
4.1	电容元件	52
4.1.1	电容元件定义	52
4.1.2	电容元件的电压与电流的关系	52
4.1.3	电容的性质	53
4.1.4	电容的储能	55
4.2	电感元件	56
4.2.1	电感元件	56
4.2.2	电感元件的电压与电流的关系	56
4.2.3	电感的性质	57
4.2.4	电感的储能	59
4.3	动态电路方程的建立	59
4.4	开关电路的初始条件和直流稳态	61
4.4.1	动态电路的过渡过程	62
4.4.2	初始值的求解	62
4.4.3	稳态值的求解	65
4.5	一阶电路的求解——三要素法	66
4.6	一阶线性动态电路的叠加定理	71
4.6.1	零输入响应	71
4.6.2	零状态响应	72
4.6.3	完全响应	72
	习题	76
<b>第5章</b>	<b>二阶动态电路</b>	<b>79</b>
5.1	$RLC$ 串联电路的零输入响应	79
5.1.1	过阻尼情况	80
5.1.2	临界阻尼情况	81
5.1.3	欠阻尼情况	82
5.2	直流激励下 $RLC$ 串联电路的零状态响应和全响应	85
	习题	86
<b>第6章</b>	<b>正弦交流电路的稳态分析</b>	<b>88</b>
6.1	正弦电压和电流	88
6.1.1	正弦电压和电流的一般表示形式	89
6.1.2	正弦电压和电流的三要素之一: 最大值(振幅)或	

有效值(Effective Value) .....	89
6.1.3 正弦电压和电流的三要素之二:频率和周期 .....	90
6.1.4 正弦电压和电流的三要素之三:初相位 .....	90
6.2 正弦响应 .....	92
6.3 正弦量的相量表示方法 .....	93
6.3.1 相量变换 .....	93
6.3.2 相量的计算 .....	93
6.4 复数的表示方法及其运算* .....	94
6.4.1 复数的表示方法 .....	94
6.4.2 复数的运算 .....	95
6.4.3 旋转因子 .....	95
6.5 $R$ 、 $C$ 、 $L$ 元件伏安特性的相量形式 .....	96
6.5.1 电阻的伏安特性 .....	96
6.5.2 电容的伏安特性 .....	97
6.5.3 电感的伏安特性 .....	97
6.5.4 阻抗和导纳 .....	98
6.6 基尔霍夫定律的相量形式 .....	99
6.7 复阻抗、复导纳及其等效变换 .....	100
6.7.1 复阻抗、复导纳的串联 .....	100
6.7.2 复阻抗和复导纳的并联 .....	101
6.7.3 阻抗的 $\Delta$ - $Y$ 型变换 .....	105
6.8 用相量法分析正弦稳态电路 .....	105
6.8.1 例题 .....	105
6.8.2 电路的相量图 .....	109
习题 .....	110
<b>第7章 正弦稳态功率的计算</b> .....	<b>115</b>
7.1 正弦稳态电路的瞬时功率 .....	115
7.2 正弦稳态电路的有功功率和无功功率 .....	116
7.2.1 有功功率(平均功率) .....	116
7.2.2 无功功率 .....	117
7.2.3 视在功率 .....	117
7.2.4 电阻的功率 .....	117
7.2.5 电感的功率 .....	117
7.2.6 电容的功率 .....	118
7.2.7 功率因数 .....	118
7.3 复功率 .....	120

7.4	最大功率传输定理 .....	122
	习题 .....	124
<b>第 8 章</b>	<b>具有耦合电感和理想变压器的电路</b> .....	<b>127</b>
8.1	耦合电感元件 .....	127
8.2	含有耦合电感元件的计算 .....	130
8.2.1	耦合电感的串联电路去耦 .....	131
8.2.2	耦合电感的并联电路去耦 .....	133
8.2.3	“三端”耦合电感的去耦 .....	133
8.2.4	“四端”耦合电感的去耦 .....	136
8.3	变压器的原理 .....	137
8.4	理想变压器 .....	139
	习题 .....	142
<b>第 9 章</b>	<b>三相电路</b> .....	<b>145</b>
9.1	三相电源 .....	145
9.2	三相负载 .....	148
9.3	三相电路 .....	149
9.3.1	Y-Y 三相电路 .....	149
9.3.2	Y- $\Delta$ 三相电路 .....	150
9.3.3	$\Delta$ -Y、 $\Delta$ - $\Delta$ 三相电路 .....	151
9.4	不对称三相电路 .....	154
9.5	三相电路的功率 .....	156
	习题 .....	160
<b>第 10 章</b>	<b>电路的频率响应和谐振</b> .....	<b>163</b>
10.1	正弦稳态网络函数 .....	163
10.2	RLC 电路的串联谐振和频率响应 .....	165
10.3	RLC 电路的并联谐振 .....	169
10.4	波特图 .....	170
	习题 .....	172
<b>第 11 章</b>	<b>非正弦周期电流电路分析</b> .....	<b>175</b>
11.1	非正弦周期信号 .....	175
11.2	非正弦周期信号的傅里叶分解 .....	175
11.3	周期非正弦函数的有效值与平均功率 .....	178
11.4	周期非正弦电流电路的计算 .....	180
	习题 .....	183

<b>第 12 章 线性动态电路的复频域分析</b> .....	186
12.1 拉普拉斯变换 .....	186
12.2 拉普拉斯变换的基本性质 .....	187
12.3 拉普拉斯反变换的计算 .....	190
12.4 运算电路 .....	193
12.5 应用拉普拉斯变换分析线性电路 .....	196
12.6 网络函数 .....	198
习题 .....	202
<b>参考文献</b> .....	204

# 第 1 章

## 电路分析的基本定律和等效的概念

电路分析主要从两个方面入手,一是组成电路的各元件自身的伏安特性,二是由电路结构决定的各元件之间的约束关系,也就是电路分析的基本定律。因此本章首先引入电路模型,介绍常用的二端元件电阻、独立电源、受控源等元件的伏安特性;然后介绍最基本的基尔霍夫两个定律,即电流定律和电压定律。在应用基尔霍夫定律时要特别注意电流和电压的参考方向问题。最后介绍电路中的“外等效”的概念及等效的一些应用,即电阻和电源的串并联、Y- $\Delta$ 变换及电源的等效变换。

### 1.1 电路模型和电路图

实际电路是由电气器件(device)相互连接而构成的,按照在电路中所起的作用不同,这些器件可以分为电源、负载和传输控制器件等几类。电源提供电能或电信号,负载使用电能或接收和处理电信号,电源和负载的连接部分则是传输控制器件。

在通信、自动控制、计算机、电力等各个电技术领域,使用大量的电路完成各种各样的任务,常用的有:提供能量的电路(如供电电路);传送和处理信号的电路(如电话线路、放大器电路);测量电路(如万用表电路);存储电路(如计算机的存储器电路)等。实际电路的形式和作用是多多种多样的,其物理尺寸也相差很大,有的可以延伸到数百公里以上(如电力系统和通信系统),有的则只分布于几平方毫米以内(如集成电路的芯片)。电路的种类虽然很多,但它们受共同的基本规律支配,都是建立在同一理论上,形成了“电路理论”这一学科,“电路分析基础”属于“电路理论”学科,它是“电路理论”的入门课程。通过这门课的学习,将掌握电路的基本理论和基本分析方法,为学习电类专业及进一步学习电路理论打下基础。研究电路理论的目的是计算电路中流过各器件的电流和端子间的电压,而不涉及器件内部发生的物理过程。

人们设计制作某种器件是要利用它的某种物理性质,譬如说,制作一个电阻器是要利用它的电阻,即对电流呈现阻力的性质;制作一个电压源是要利用它的两极间能保持有一定电压的性质;制作连接导体是要利用它的优良导电性能,使电流顺利流过。但是,事实上不可能制造出只表现出某一性质的器件,也就是说,不可能制造出理想的器件。例如,一个实际的电阻器当电流流过还会产生磁场,因而还兼有电感的性质;一个实际电源总有内阻,因而在使用时不可能总保持一定的端电压。因此在分析和研究电路的工作时,总是把构成电

路的实际器件抽象成一些理想化的模型的组合,这些理想化的模型叫做理想电路元件。理想电路元件是具有某种确定的电或磁性质的假想元件。实际器件可以用理想元件及其组合来近似代替,从而构成了与实际电路相对应的电路模型,今后所说的电路一般均指这种抽象电路而非实际电路。日常生活中所用的手电筒电路,就是一个最简单的电路,实际电路是由干电池、灯泡、手电筒壳(连接导体)组成的,如图 1-1(a)所示。其电原理图和电路模型分别如图 1-1(b)、(c)所示。在电路模型图 1-1(c)中,电阻元件  $R_L$  表示小灯泡,干电池则用电压源  $U_s$  和电阻元件  $R_1$  的组合表示,而连接导线消耗电能很少,一般可以认为其电阻为零,可以用理想导线表示。

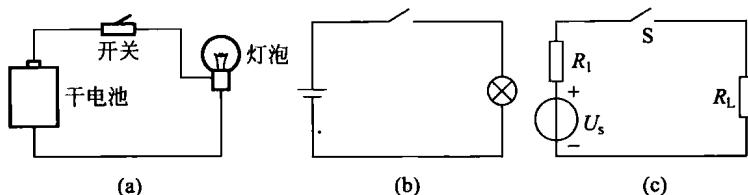


图 1-1 手电筒电路

当实际电路的线性尺寸远小于电路工作时电磁波的波长或者说电磁波通过电路的时间是瞬时的,则整个电路的实际尺寸可以忽略不计,因而可以把它集总在一起,用足以反映其电磁性质的一个或有限个分立的电阻、电感、电容等元件来加以描述,这种理想电路元件就叫做集总参数元件,或者称为集总元件(Lumped Circuit Elements)。在集总参数元件中,电阻、电感、电容是 3 种最基本的元件。这些元件在任何时刻对外界均不提供能量,因此又叫做无源元件。而有些元件可以对外界提供能量,这种元件称之为有源元件,两种基本的有源元件是电压源和电流源。电路元件有很多种,具有两个端钮的叫做二端元件,具有两个以上端钮的叫做多端元件。在集总参数的情况下,任何时刻从二端元件的某一端钮流入的电流必然等于从另一端钮流出的电流;并且两个端钮之间的电压值也都是完全确定的。由集总参数元件构成的电路叫做集总参数电路,无特殊说明本书只讨论集总参数电路。

应当注意:一个实际电路的元件,根据不同情况,可以抽象称为不同形式的集总参数电路,即代以不同形式的集总参数电路模型。例如,在工作频率比较低时,一个线圈就可以用电阻和电感元件的串联组合构成的模型来描述;当频率较高时,线圈绕线之间的电容效应就不能忽视。这种情况下表征这个线圈的较准确的模型还应当包含电容元件。再如,我国电力用电的频率为 50Hz,对应的波长为 6000km。对一般的用电设备和其中的器件而言,其尺寸与这一波长相比完全可以忽略不计,因此集总假设的概念是完全适用的。但对远距离输电线来说,就必须考虑到电场、磁场沿电路分布的观象,不能用集总参数而要用分布(Distributed)参数表征。

为实际电路建立电路模型的第一步应该是仔细观察物理世界,然后通过实验,建立可测物理量间的普遍关系,并推出一般性结论。当然,如何建立各种电路模型已超出电路分析这门课的内容,但应该注意电路模型的概念及重要性,认识到实际电路同电路模型的关系。在使用所学模型分析一个具体的实际电路时,首先应确保所用模型能真实反映实际电路;否则就应修正模型。

## 1.2 参考方向

电路分析能够得出给定电路的电性能,这意味着电路的电性能通常可以用一组表示为时间函数的变量来描述,电路分析的任务在于解得这些变量。这些变量中最常用到的便是电流(Current)、电压(Voltage)和功率(Power)。

### 1.2.1 电流的参考方向

单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度常简称为电流,用符号  $i$  表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做恒定电流,简称直流(Direct Current, DC),可用符号  $I$  表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流(Alternating Current, 简写作 ac 或 AC)。在国际单位制中,电流的单位是安培(中文代号为安,国际代号为 A)。安培是国际单位制的基本单位之一。

上面已经提到正电荷运动的方向规定为电流的方向,但在实际问题中,电流的真实方向往往难以在电路图中标出。例如,当电路中的电流为交流时,就不可能用一个固定的箭头来表示真实方向。即使电流为直流,在求解较复杂电路时,也往往难以事先判断电流的真实方向。为了解决这样的困难,引入参考方向(Reference Direction)这一概念。参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示。规定:如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;如果两者相反,电流为负值。这样,可利用电流的正负值结合着参考方向来表明电流的真实方向。例如,  $-1\text{A}$  表示正电荷以每秒  $1\text{C}$  的速率逆着参考方向箭头移动。在分析电路时,尽可先任意假设电流的参考方向,并以此为准去进行分析、计算,从最后答案的正、负值来确定电流的真实方向。

**【例 1-1】** 图 1-2(a)中的方框用来泛指元件。设  $1\text{A}$  的电流由  $a$  向  $b$  流过图中所示元件,试问如何表示这一电流?

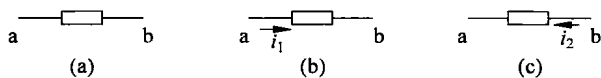


图 1-2 例 1-1 用图

解:有两种表示方式:

(1) 用图 1-2(b)所示的  $i_1$  表示,而  $i_1$  应表示为  $i_1 = 1\text{A}$ ,这是因为  $i_1$  的参考方向与电流的真实方向一致。

(2) 用图 1-2(c)所示的  $i_2$  表示,而  $i_2$  应表示为  $i_2 = -1\text{A}$ ,这是因为  $i_2$  的参考方向与电流的真实方向相反。

显然,这两种表示方法之间的关系是:  $i_2 = -i_1$ 。可见,在未标示参考方向的情况下,电



流的正负是毫无意义的。电流的参考方向除了可以用箭头表示外,还可以用下标表示,如  $i_{ab}$  表示电流的参考方向从 a 流向 b。

今后,电路图中所标的电流方向箭头都是参考方向箭头,不一定就表示电流的真实方向。电流的参考方向又叫电流的正方向。由于在集总电路中,电路的尺寸是无关紧要的,流过元件的电流可以是时间的函数,却谈不上是空间位置的函数,因此,在任一时刻从任一元件一端流入的电流一定等于从它另一端流出的电流,流经元件的电流是一个可确定的量,这是集总假设的必然结果。

### 1.2.2 电压的参考方向

电荷在电路中流动,就必然有能量的交换发生。电荷在电路的某些部分(如电源处)获得能量而在另外一些部分(如电阻元件处)失去能量。电荷在电源处获得的能量是由电源的化学能、机械能或其他形式的能量转换而来的。电荷在电路某些部分所失去的能量,或转换为热能(电阻元件处),或转换为化学能(电池处),或储藏在磁场中(电感元件处)等。失去的能量是由电源提供的,因此,在电路存在着能量的流动,电源可以提供能量,有能量流出;电阻等元件吸收能量,有能量流入。为便于研究问题,在分析电路时引用“电压”这一物理量。电压有时也叫做“电位差”,用符号  $u$  表示。

电路中 a、b 两点间的电压表明了单位正电荷由 a 点转移到 b 点时所获得或失去的能量,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式中,  $dq$  为由 a 点转移到 b 点的电荷,单位为库仑(C);  $dw$  为转移过程中电荷  $dq$  所获得或失去的能量,单位为焦耳(J)。电压的单位为伏特(V)。这些单位都是国际单位制单位。如果正电荷由 a 转移到 b,获得能量,则 a 点为低电位,即负极, b 点为高电位,即正极。如果正电荷由 a 转移到 b,失去能量,则 a 点为高电位,即正极, b 点为低电位,即负极。两点间电压极性随时间变化,则称为交变电压或交流电压。

如同需要为电流规定参考方向一样,也需要为电压规定参考极性。电流的参考方向用箭头表示,电压的参考极性则在元件或电路的两端用+、-符号来表示。+号表示高电位端, -号表示低电位端,如图 1-3(a)所示。也可以用下标表示,  $u_{ab}$  表示 a 为+, b 为一,如图 1-3(b)所示。另外,还可以用箭头表示从 a 到 b,如图 1-3(c)所示。

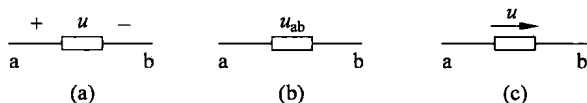


图 1-3 电压参考方向的表示方法

根据公认的规定,当电压为正值时,该电压的真实极性与参考极性相同,如图 1-3 所示,也就是 a 点电位高于 b 点电位;当电压为负值时,该电压的真实极性与所标的极性相反,也就是 b 点电位高于 a 点电位。在未标示电压参考极性的情况下,电压的正负是毫无意义的。电压的参考极性也称为电压的参考方向或正方向。

在电路图中,对元件所标的电压参考极性也可以任意选定,不一定代表电压的真实极